



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0710066-3 A2**

(22) Data de Depósito: 29/03/2007
(43) Data da Publicação: 02/08/2011
(RPI 2117)



* B R P I 0 7 1 0 0 6 6 A 2 *

(51) *Int.Cl.:*
G01N 29/00 2006.01
G01V 1/40 2006.01

(54) Título: **CARACTERIZAÇÃO DE FLUIDO DE POÇO COM BASE EM MUDANÇAS NAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS COM PRESSÃO**

(30) Prioridade Unionista: 30/03/2006 US 11/393,770

(73) Titular(es): Baker Hughes Incorporated

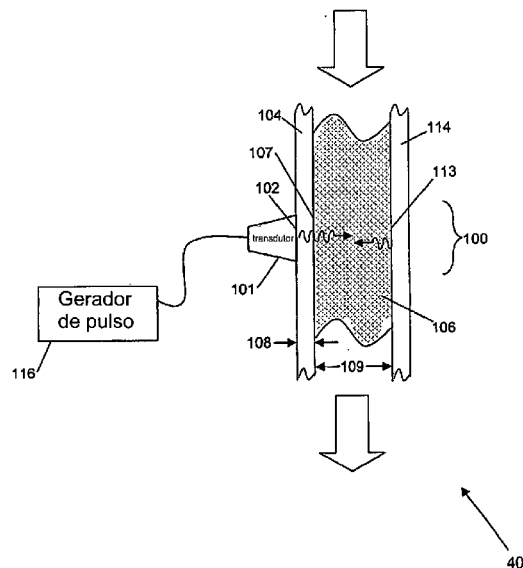
(72) Inventor(es): Rocco Difoggio

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2007007837 de 29/03/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/127003 de 08/11/2007

(57) Resumo: CARACTERIZAÇÃO DE FLUIDO DE POÇO COM BASE EM MUDANÇAS NAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS COM PRESSÃO presente invenção refere-se a técnicas para a avaliação dos aspectos físicos de um fluido de formação a partir de dentro de um poço que incluem a alteração de pressão em uma amostra do fluido de formação e a transmissão de pelo menos um pulso acústico através da amostra de fluido e análise da informação acústica coletada. O aparelho e os métodos para a avaliação envolvem a utilização de pelo menos um transdutor acústico. A análise envolve tipicamente o uso de fórmulas que relacionam a equação de estado do fluido e outras propriedades a uma alteração na velocidade do som no fluido como uma função da pressão.



40

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**CARACTERIZAÇÃO DE FLUIDO DE POÇO COM BASE EM MUDANÇAS NAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS COM PRESSÃO**".

Antecedentes da Invenção

5

Campo da Invenção

A invenção refere-se a técnicas de exploração geológica, e mais especificamente à estimativa de propriedades de fluido a partir de dados acústicos.

Descrição da Técnica Relacionada

10

Em vários processos industriais que envolvem material de fluido, é útil conhecer as propriedades dos fluidos envolvidos. Essas propriedades incluem, por exemplo, densidade, capacidade de compressão e impedância acústica. Em muitas aplicações, tal como na exploração e na produção de óleo, as propriedades do fluido são de interesse particular. Os engenheiros de reservatório precisam conhecer a equação do estado (EOS) para fluidos de poço, especialmente fluidos de hidrocarbono, para decidir uma forma ideal para produzir um reservatório. Uma equação do estado é uma equação termodinâmica que relaciona uma pressão, volume e temperatura do fluido. A equação mais simples de estado é a equação bem conhecida, $PV = nRT$, para um gás ideal. No entanto, a equação de gás ideal não é útil no poço visto que, com as pressões e temperaturas do poço, até mesmo o gás metano puro está longe de ser um gás ideal. As equações do estado para líquidos são muito mais complicadas e freqüentemente semi-empíricas. Existem laboratórios "PVT", que são especializados na realização de análise de pressão, volume e temperatura em amostras de fluido de hidrocarbono recuperadas.

25

30

Tentativas de se correlacionar as várias propriedades físicas dos fluidos com medições acústicas são conhecidas. No entanto, nenhum desses outros métodos acústicos de poço realizam as medições acústicas em uma pluralidade de pressões ou tentam determinar uma EOS de fluido ou seus parâmetros EOS (coeficientes viriais) para estimar as propriedades do fluido. Por exemplo, na patente U.S. No. 6.957.700, expedida em 25 de ou-

tubro de 2005 e intitulada "Self-Calibrated Ultrasonic Method of In-Situ Measurement of Borehole Fluid Acoustic Properties," as ferramentas e os métodos são descritos para determinar a impedância acústica do fluido de perfuração utilizando reflexos de um disco de metal preciso. Não descreve a realização das medições acústicas enquanto a pressão de fluido está mudando para determinar uma EOS ou outras propriedades de fluido.

Um exemplo, que não descreve o uso em poço, é provido na Patente U. S. Nº 6.763.698, emitida em 20 de julho de 2004 e intitulada "Self Calibrating System and Technique for Ultrasonic Determination of Fluid Properties". Nesta patente, um sistema e uma técnica para determinar as propriedades de fluido incluem um transdutor ultra-sônico sobre uma primeira superfície de um elemento sólido. Um pulso ultra-sônico longitudinal é entregue através do elemento sólido e uma multiplicidade de ecos de pulso causados por reflexões do pulso ultra-sônico entre a interface sólido-fluido e a interface transdutor-sólido é detectada e processada. A velocidade de ultrassom no fluido é determinada e a densidade de fluido é determinada como uma função da velocidade de ultra-som e da determinada propriedade acústica. Ele não descreve fazer medições acústicas enquanto a pressão de fluido está mudando a fim de determinar um EOS ou outras propriedades de fluido.

A análise profunda das amostras de subsuperfície é frequentemente completada em um laboratório PVT de superfície depois que tanques de amostra são retirados de um poço. De acordo com isso a amostragem pode ocorrer nas profundidades onde o ambiente está em uma temperatura e pressão comparativamente altas, é reconhecido que o equilíbrio delicado existe para os componentes dissolvidos dentro de uma amostra retida. Essa é a razão pela qual uma amostra pode ser alterada de forma substancialmente pelo ato de retirada para a superfície (onde temperaturas e pressão são substancialmente mais baixas). Asfaltenos e ceras podem se precipitar para fora da solução e podem levar semanas de agitação no laboratório a alta temperatura e pressão (uma tarefa árdua chamada "recombinação") para trazer os componentes de volta para a solução. De acordo, várias técni-

cas de amostragem incluíram determinados protocolos para superar tais problemas e conservaram a integridade de amostra. Uma técnica dessas envolve a pressurização excessiva de uma amostra (tipicamente de vários milhares de psi acima da pressão de formação) dentro de uma câmara de amostra para limitar ou impedir a separação em duas fases ou precipitação de determinados componentes dentro da amostra à medida que a amostra encolhe com o esfriamento durante seu retorno para a superfície. No entanto, quando possível, ainda é preferível, realizar essas medições de propriedade de fluido in situ como descrito na presente invenção. A realização da medição do poço garante que a amostra de fluido esteja em um estado relativamente perfeito. Além disso, para qualquer funcionamento único de ferramenta existe um número limitado de tanques de amostra que pode ser desenvolvido. Para testar os fluidos a partir de mais zonas no poço que um dos tanques de amostra exige requer fazer uma medição de poço ou realização de um circuito de ida e volta dentro do poço com a ferramenta.

As presentes técnicas para utilização de sinais acústicos para determinação ou estimativa de propriedades físicas e químicas de uma amostra retirada do poço falham em fornecer determinadas análises in situ desejadas das amostras de subsuperfície. Mais especificamente, as presentes técnicas que empregam sinais acústicos para análise de amostra não realizam as medições acústicas em uma pluralidade de pressões. Além disso, não utilizam a mudança nas propriedades acústicas com pressão para estimar uma EOS ou outras propriedades de fluido.

É sabido que a aplicação de pressão a um fluido mudará suas propriedades acústicas e que se pode coletar informação de propriedade de fluido adicional a partir de quão rapidamente essas propriedades acústicas mudam com a pressão. Por exemplo, referência pode ser feita a um artigo intitulado "Non-linear Ultrasonics to Determine Molecular Properties of Pure Liquids," Sehgal, C.M., Ultrasonics Vol. 33, No. 2, 1995, pp. 155-161. Esse artigo menciona que a propagação de onda através da mídia condensada é fundamentalmente não-linear, e apresenta várias relações entre as propriedades de fluido e a taxa de mudança na velocidade do som com pressão.

O que se precisa é de uma técnica para avaliação de uma amostra de fluido de formação in situ que forneça algumas das análises previamente apenas disponíveis a partir de um laboratório PVT de superfície.

Sumário da Invenção

5 É descrito um aparelho para avaliação de uma amostra de fluido, incluindo uma ferramenta adaptada para inserção em um poço e o recebimento de amostra de fluido em uma câmara de amostra, a câmara de amostra adaptada para mudar uma pressão da amostra de fluido e possuindo pelo menos um transdutor acústico acoplado à câmara de amostra, o transdutor
10 acústico para avaliar a amostra de fluido em um estado pressurizado com pelo menos um sinal acústico.

Também é descrito um método para a avaliação das propriedades de uma amostra de fluido, o método de disposição de uma ferramenta dentro de um poço; o recebimento da amostra de fluido em uma câmara de
15 amostra na ferramenta; a mudança de uma pressão da amostra de fluido; a transmissão de pelo menos um sinal acústico dentro da amostra de fluido; e a análise de pelo menos um sinal acústico para avaliar as propriedades da amostra de fluido.

É descrito adicionalmente um produto de programa de computador armazenado na mídia legível por máquina, o produto incluindo instruções para avaliação das propriedades de uma amostra de fluido em um ambiente
20 de poço, pela mudança de uma pressão da amostra de fluido dentro de uma câmara de amostra, a transmissão de pelo menos um sinal acústico dentro da amostra de fluido, e análise do pelo menos um sinal acústico para avaliação
25 ção das propriedades da amostra de fluido.

Exemplos de determinadas características da invenção foram resumidos aqui de forma bem ampla a fim de que a descrição detalhada dos
mesmos que se segue possa ser mais bem compreendida e a fim de que as contribuições que representam para a técnica possam ser apreciadas. Exis-
30 tem, obviamente, características adicionais da invenção que serão descritas posteriormente e que formarão a matéria das reivindicações em anexo.

Breve Descrição dos Desenhos

Para uma compreensão detalhada da presente invenção, referências devem ser feitas à Descrição Detalhada da invenção, levada em conjunto com os desenhos em anexo, nos quais elementos similares receberam números similares, onde:

a figura 1 apresenta aspectos da amostragem de subsuperfície em um poço;

a figura 2 apresenta os aspectos de uma ferramenta de amostragem dentro do poço;

a figura 3 apresenta uma linha de fluxo levando a um tanque de amostragem no qual a amostra pode ser pressurizada excessivamente; e

a figura 4 apresenta um método de determinação dos aspectos físicos da amostra.

A descrição detalhada explica as modalidades preferidas da invenção, juntamente com as vantagens e características, por meio de exemplo, com referência aos desenhos.

Descrição Detalhada da Invenção

Voltando-se agora à figura 1, uma seção transversal das formações de terra 10 ao longo do comprimento de uma penetração referida como um "poço" 11 é apresentada. Normalmente, o poço 11 é pelo menos parcialmente preenchido com uma mistura de líquidos incluindo água, fluido de perfuração, lama, óleo e fluidos de formação que são naturais às formações 10 penetradas pelo poço 11. Suspensa dentro do poço 11 na extremidade inferior de um fio 12 encontra-se uma ferramenta de amostragem de fluido de formação 20. O fio 12 é freqüentemente transportado sobre uma roldana 13 suportada por uma plataforma 14. O desdobramento e a recuperação do fio 12 são tipicamente realizados por um guincho energizado transportado por um caminho de manutenção 15.

Uma modalidade ilustrativa da ferramenta de amostragem 20 é ilustrada de forma esquemática pela figura 2. Nessa modalidade não-limitadora, a ferramenta de amostragem 20 inclui uma montagem de vários segmentos de ferramenta que são unidos extremidade com extremidade pe-

las mangas rosqueadas ou uniões de compressão mútua 23. A montagem dos segmentos de ferramenta inclui uma unidade de energia hidráulica 21 e um extrator de fluido de formação 22. Abaixo do extrator 22, uma bomba de grande volume 24 é fornecida para a purga da linha. Abaixo da bomba de

5 volume grande 24 encontra-se uma bomba de volume pequeno similar 25 possuindo um volume de deslocamento menor do que a bomba de volume maior 24. Uma pluralidade de seções de articulação de tanque de amostras 26 é montada abaixo da bomba de volume grande 25. Cada seção da articulação 26 inclui pelo menos um tanque de amostra 30 para retenção de uma

10 amostra de fluido.

Nessa modalidade, o extrator de fluido de formação 22 inclui uma sonda de "sucção" extensível 27, que reduz a pressão ligeiramente abaixo da pressão de formação para permitir que o fluido de formação flua para dentro da sonda 27. A sonda 27 é oposta por braços de suporte de pa-

15 rede de furo 28. Ambos a sonda de sucção 27 e os braços de suporte 28 são hidraulicamente extensíveis para engatar firmemente as paredes do poço 11.

Em algumas modalidades, pelo menos um dentre uma bomba de volume grande 24, uma bomba de volume pequeno 25 e um suprimento

20 remoto de gás pressurizado (não ilustrado) fornece pressão atrás de um pistão encerrando a amostra de fluido de formação em pelo menos um tanque de amostra 30 quando comandado. A pressão é tipicamente necessária uma vez que uma amostra tenha sido coletada e disposta dentro do tanque de amostra 30. Essa almofada de gás é muito mais compressível do que o flui-

25 do de formação típico de forma que a pressão do fluido de formação não mude muito com a queda de temperatura como a pressão de um líquido. Em um recipiente preenchido apenas com líquido, quando o líquido encolhe ligeiramente com a queda da temperatura, a pressão que o líquido exerce em seu recipiente de contenção cai drasticamente. Essa é a razão pela qual

30 uma almofada de gás é freqüentemente utilizada para manter a amostra de líquido sob pressão e em uma única fase à medida que a câmara de amostra é trazida para a superfície. Um pistão separa a almofada de gás de qual-

quer outro fluido que esteja dentro do tanque de amostras.

Os ensinamentos fornecem o uso de pelo menos um transdutor acústico em cooperação com a ferramenta de amostragem 20. O pelo menos um transdutor fornece a determinação de propriedades acústicas de uma amostra, em uma pluralidade de pressões, tipicamente perto da pressão de formação. A determinação das propriedades acústicas fornece a derivação de outras propriedades de fluido de suas propriedades acústicas medidas. Visto que as técnicas para pressurização de tanque de amostra 30 ou outros componentes da ferramenta de amostragem 20 são conhecidos, esses aspectos do manuseio de amostras não são geralmente discutidos adicionalmente aqui.

Apesar de os presentes ensinamentos fazerem referência ao uso de uma ferramenta de amostragem 20, será reconhecido que as técnicas descritas não são limitadas ao uso com uma ferramenta de amostragem 20. Por exemplo, uma variedade de ferramentas pode ser utilizada para a recuperação de amostras a partir de um poço. Por exemplo, as ferramentas referidas como ferramentas de teste, ferramentas de pesquisa, ferramentas de pressão e outras ferramentas podem ser utilizadas para suportar os ensinamentos apresentados aqui. Qualquer uma dessas e outras ferramentas similares podem ser construídas como sendo uma "ferramenta" como utilizado aqui. De acordo, o termo "ferramenta de amostragem 20" é meramente ilustrativo e não limitador dos ensinamentos apresentados aqui.

As técnicas também são conhecidas para a determinação de pelo menos uma densidade de amostra utilizando a deterioração de pulso acústico. É feita referência ao pedido de patente U.S. No. 2005/0204808 intitulado "Method and Apparatus for an Acoustic Pulse Decay Density Determination," pela presente requerente, e incorporado aqui por referência em sua totalidade.

Voltando-se agora à modalidade ilustrativa apresentada na figura 3, uma linha de amostra 40 que leva ao tanque de amostra 30 é apresentada. Uma direção do fluxo de uma amostra 106 na linha de amostra 40 é apresentada pelas setas na figura 3. A linha de amostra 40 é pressurizada

excessivamente e cerca a amostra 106 do fluido de formação. Uma parte da linha de amostra 40 onde a análise de amostra é realizada é referida, por motivos de conveniência, como uma "câmara de amostra 100". O termo "câmara de amostra 100" como utilizado aqui se refere a qualquer lugar onde a amostra 106 seja avaliada pela aplicação dos ensinamentos apresentados aqui. Conseqüentemente, a linha de amostra 40 ilustra uma modalidade não limitadora da câmara de amostra 100.

Apesar de o fluido de formação que é retido por fim na ferramenta 20 incluir tipicamente substancialmente mais fluido do que a parte apresentada na camada de amostra 100, nessa modalidade (e em algumas outras) a parte representada na câmara de amostra 100 é referida como amostra 106. Isso por motivos de conveniência e não de limitação dos ensinamentos apresentados aqui. Como utilizado aqui, o termo "amostra 106" geralmente indica a parte do fluido de formação retido que é "avaliado" por, submetido a ou interrogado com um sinal acústico.

Nessa modalidade não limitadora, a amostra 106 é limitada pela câmara de amostra 100 que inclui uma parede próxima 104 e uma parede distante 114. A pressão pode ser aumentada na amostra 106 pela compressão de fluido de formação através do movimento de um pistão de bomba (não ilustrado), ou através de outras técnicas.

No poço típico 11, a pressão do fluido de formação varia de cerca de 41,368 MPa a cerca de 103,421 MPa (6.000 psi a cerca de 15.000 psi). É reconhecido que em alguns casos, a pressão do fluido de formação pode variar de cerca de 20,684 MPa para 206,842 MPa (3.000 psi para 30.000 psi) e possivelmente mais (ou menos).

Tipicamente, a amostra 106 é pressurizada excessivamente para pressões de vários milhares de psi ou mais acima da pressão de fluido de formação. Por exemplo, a amostra 106 pode ser pressurizada excessivamente entre cerca de 3,447 MPa e 24,131 MPa (500 psi e 3.500 psi), no entanto, essa faixa deve ser considerada meramente ilustrativa e não limitadora.

Os termos "pressão excessiva", "pressurizado excessivamente" e outros termos similares são geralmente não considerados em termos de pressão de amostra com relação à pressão no ambiente de amostragem e a pressão do fluido de formação no ambiente de amostragem. Isso é, deve-se reconhecer que o fluido de formação, quando amostrado, está tipicamente em uma pressão que é substancialmente maior do que a pressão atmosférica. A pressurização excessiva da amostra 106 significa tipicamente a elevação da pressão aplicada à amostra 106 a um grau que é pelo menos ligeiramente acima da pressão de formação, e pode ser substancialmente acima da pressão de formação.

Da mesma forma, "pressurização insuficiente" da amostra 106 pode ser desejável, em alguns casos. Em tais modalidades, a pressurização insuficiente da amostra 106 exige um alívio ligeiro da pressão na amostra 106, e pode exigir o alívio substancial até o alívio completo da pressão na amostra 106.

Portanto, os termos "mudando", além de "pressurizando" e outros termos similares referentes à pressão de amostra contemplam a pressurização excessiva da amostra 106 além da pressurização insuficiente da amostra 106.

Conseqüentemente, deve ser reconhecido que a pressão na amostra 106 pode variar consideravelmente para fornecer aos usuários dados adicionais referentes a aspectos das propriedades da amostra 106.

Na modalidade da figura 3, um transdutor acústico 101 é acoplado à parede próxima 104 da linha de amostra 40 em uma interface acústica 102. O transdutor acústico 101 se comunica com um gerador de pulso 116. O gerador de pulso 116 inclui tipicamente partes eletrônicas adequadas para a geração de um sinal acústico (por exemplo, um "pulso") e para o monitoramento de sinais associados ao pulso acústico. Tipicamente, a espessura de parede 108 da linha de amostra 40 e a largura interna 109 da linha de amostra 40 são selecionadas para melhorar o desempenho acústico durante a análise de amostra. Durante a análise de amostra, os sinais acústicos são transmitidos a partir de uma interface de parede próxima/fluido 107 através

da amostra 106 e refletem a partir de uma interface de parede distante/fluido 113.

O transdutor acústico 101 produz pelo menos um sinal acústico para avaliação da amostra 106. O pelo menos um sinal acústico pode ser
5 refletido, retornado, direcionado ou transmitido através da amostra 106 de qualquer forma útil para avaliação do mesmos. O sinal acústico é tipicamente gerado utilizando-se uma frequência que é selecionada para avaliação dos fluidos do poço. Apesar de o sinal acústico poder ser selecionado por referência às propriedades da amostra 106, a câmara de amostra 100 e outras propriedades, deve-se reconhecer que os transdutores acústicos 101
10 que podem ser operados através de uma ampla faixa de frequências podem ser úteis com os ensinamentos aqui.

Mais especificamente, o tempo de trânsito de um pulso acústico através de uma distância conhecida em um fluido é uma forma comum de
15 medir a velocidade de som dentro de um fluido. Um pulso acústico geralmente consiste de um ou mais ciclos completos de uma onda acústica. A frequência principal dessa onda acústica pode variar de infra-som a som audível a ultra-som.

A distância de trânsito preferida através do fluido depende do
20 comprimento de onda de som dentro do fluido. O comprimento de onda de som é computado como a velocidade de som no fluido dividida por sua frequência. Para determinar com precisão o tempo de chegada de um pulso acústico e o tempo de trânsito correspondente, é preferível que a distância de trânsito seja muito maior do que o comprimento de onda de som visto que
25 cada pulso acústico é geralmente espalhado espacialmente através de um ou mais comprimentos de onda desse som. De forma equivalente, o tempo de trânsito é tipicamente muito maior do que a duração do pulso, que inclui um ou mais ciclos completos. Portanto, uma câmara de amostra maior é utilizada para um som de baixa frequência quando comparada com a câmara
30 de amostra utilizada para medição da velocidade do som com som de alta frequência.

Obviamente, deve-se reconhecer que a linha de amostra 50 não precisa ser uma linha de amostra primária. Por exemplo, a câmara de amostra 100 pode ser uma linha de amostra secundária à qual uma parte do fluxo de amostra é desviado. Tais modalidades podem ser desejadas, pelo menos em alguns casos, para o ajuste em separado de pressão nas partes da amostra 106, para aperfeiçoar as propriedades acústicas da câmara de amostra 106, e por outras razões.

Em um exemplo, o transdutor acústico 101 inclui um transdutor de 10 MHz 101. A câmara de amostra 100 é fabricada a partir de uma liga de titânio. Nessa modalidade, a largura interna 109 da câmara de amostra 100 é de cerca de 0,55 cm (0,218") e a espessura de parede 108 é de cerca de 0,27 cm (0,110)". Tipicamente, as superfícies acústicas da câmara de amostra 100 (por exemplo, a superfície na interface acústica 102, a interface de parede próxima/fluido 107 e a interface de parede distante/fluido 113) são planas e paralelas uma à outra. Em algumas modalidades, a câmara de amostra 100 inclui um transdutor para ouvir em separado (não ilustrado) para o monitoramento do sinal acústico.

Tipicamente, a pressão é elevada a um nível de forma que a amostra 106 permaneça em um estado que é consistente com o estado ambiente do fluido de formação no ambiente de amostra. Visto que a temperatura e a pressão no ambiente de poço do poço 11 podem ser relativamente altas, a câmara de amostra 100 é projetada para acomodar a pressão substancial (pressão que está bem acima da pressão relativamente alta na formação). De acordo, é reconhecido que as determinações das propriedades de amostra quando a amostra 106 está sob pressão extrema exige a compensação de pressão substancial. Os ensinamentos apresentados aqui fornecem as determinações das propriedades de amostra pelo menos enquanto a amostra coletada 106 estiver sob uma pressão de compensação para manutenção da fase do estado de amostragem.

Algumas outras modalidades para avaliação da amostra 106 envolvem a utilização do tanque de amostra 30 como a câmara de amostra 100. Nessas modalidades, o transdutor 101 é colocado em contato com uma

parede do tanque de amostra 30. O transdutor fornece uma pluralidade de medições à medida que a pressão dentro do tanque muda. Os versados na técnica reconhecerão que a amostra 106 pode ser submetida a vários níveis de pressão durante vários estágios de amostragem e recuperação, e que a
 5 avaliação da amostra 106 pode ser realizada em vários desses estágios. Conseqüentemente, a utilização do tanque de amostra 30 como a câmara de amostra 100 é meramente uma modalidade para avaliação dos aspectos da amostra 106 e não limita os ensinamentos apresentados aqui.

A fim de fornecer a determinação das propriedades da amostra
 10 106, as relações entre os sinais acústicos e as propriedades moleculares são necessárias. As equações ilustrativas são fornecidas em uma referência intitulada "Non-Linear Ultrasonics to Determine Molecular Properties of Pure Liquids," Sehgal, C.M., Ultrasonics, Vol. 33, No. 2, 1995, pp. 155-161, que é incorporada aqui por referência em sua totalidade.

15 Como ilustrado em Sehgal nas equações de 1 a 3, uma pressão de fluido inicial P e uma pressão de fluido pressurizado P' podem ser relacionadas com uma densidade de fluido inicial ρ e uma densidade de fluido pressurizado ρ' pela utilização de $P'/P = (\rho'/\rho)^\xi$ onde ξ é uma constante. Escrevendo-se $\rho' = \rho + \Delta\rho$, essa equação pode ser expandida como uma série Taylor sobre a densidade original, ρ , de forma que $P' = P + \sum_{n=1}^{\infty} (n!)^{-1} (\partial^n P' / \partial \rho^n) [\rho' - \rho]^n$ onde $(\partial^n P' / \partial \rho^n)$ representa uma derivação n de P' avaliada em ρ , enquanto mantém a entropia S constante. O termo $[\rho' - \rho]$ pode ser substituído por $\Delta\rho$. Para um fluido de baixa capacidade de compressão, a expansão necessita apenas tipicamente ser realizada em dois termos. Pode-se definir adicionalmente $A = \rho(\partial P' / \partial \rho)$ e $B = \rho^2(\partial^2 P' / \partial \rho^2)$ para simplificar a
 20 aparência da equação de aproximação resultante.

Conseqüentemente, as propriedades físicas da amostra 106 podem ser estimadas utilizando-se uma equação generalizada de estado para a amostra 106. Uma condição isentrópica significa que a entropia, S , é mantida constante. Matematicamente, uma condição isentrópica é indicada pelo subscrito S como ilustrado na Equação 1. Uma equação virial que se refere à pressão P com densidade ρ para uma condição isentrópica é:
 30

$$P = P_0 + A \left(\frac{\Delta\rho}{\rho} \right) + \frac{B}{2!} \left(\frac{\Delta\rho}{\rho} \right)^2 \quad (1);$$

onde

P representa pressão;

P^0 representa pressão inicial na câmara de amostra 100;

ρ representa uma densidade da amostra 106;

5 $\Delta\rho$ representa uma mudança na densidade da amostra 106; e

A, B representam coeficientes viriais.

Os coeficientes viriais A, B definem uma relação de pressão e densidade para a amostra 106. A razão desses coeficientes viriais expressou:

$$\frac{B}{A} = \left(\frac{2\rho c}{(dc/dP)} \right) \quad (2);$$

10 dc/dP representa uma derivação da velocidade do som c com relação à pressão P;

c representa a velocidade do som na amostra 106; e

ρ representa a densidade da amostra 106.

Uma mudança na energia, ΔA_c da amostra 106 pode ser descrita como:

$$\Delta A_c = - \left[\frac{M_c^2}{(B/A+1)} \right] \ln \left(\frac{82.051T\rho}{M} \right) \quad (3);$$

onde

ΔA_c representa a energia da amostra 106, tipicamente expressa em ergs/gm;

M_c representa um peso molecular médio da amostra 106; e

20 T representa uma temperatura da amostra 106.

Adicionalmente, um parâmetro de solubilidade, δ , referido como "parâmetro de Hilderbrand" é expresso como:

$$\delta = \sqrt{\left[\left(\frac{\rho c^2}{(B/A+1)} \right) \ln \left(\frac{V_g}{V_l} \right) \right]} \quad (4);$$

V_g, V_l representam um volume molar da amostra 106 em um estado gasoso e um estado líquido, respectivamente.

Apesar de as constantes van der Waals poderem ser mais bem adequadas para a estimativa de propriedades físicas relacionadas com o meio gasoso, as constantes van der Waals a , b podem ser aplicadas ao meio líquido. Essas constantes podem ser determinadas pela medição acústica de B/A e c e através da aplicação das seguintes equações:

$$a = \left[\frac{\rho C^2 V_l^2}{(B/A+1)} \right] \quad (5);$$

$$b = V_l - \frac{RT}{\rho C^2} (B/A+1) \quad (6);$$

onde

a representa uma medida de forças de atração entre as moléculas na amostra 106;

b é uma relação com o tamanho das moléculas na amostra 106;

10 e

R representa uma constante de gás ideal.

Com referência agora à figura 4, uma modalidade não limitadora de um método para avaliação da amostra 106 é fornecida. Na figura 4, a avaliação de amostra 400 envolve a colocação da ferramenta de amostragem 15 401 dentro do ambiente de amostragem; a coleta da amostra 402; a pressurização da amostra 403 (tipicamente acima da pressão de formação); a realização de pelo menos uma medição acústica 404 e análise do sinal 405. Tipicamente, a medição acústica 404 é realizada em uma pluralidade de pressões, como indicado pela seta ascendente na figura 4 indicando uma 20 repetição da pressurização, medição e análise.

A colocação da ferramenta de amostragem 401 e a coleta da amostra 402 envolve técnicas conhecidas e não garante discussão adicional. A pressurização da amostra 403 também envolve técnicas conhecidas. No entanto, deve-se notar que, como mencionado acima, a pressurização da 25 amostra 403 envolve tipicamente a aplicação de pressão ao fluido 106 por todo o percurso de fluxo do fluido na ferramenta de amostragem 20. Portanto, as medições acústicas 404 e a análise do sinal 405 podem ser realizadas em outros locais ao longo do percurso de fluxo da amostra 106 dentro da

ferramenta de amostragem 200.

A realização das medições acústicas 404 é completada utilizando-se técnicas conhecidas para interrogação de meios com energia acústica. Essas técnicas conhecidas levam vantagem dos componentes ilustrativos como apresentado e discutido aqui, e podem envolver outros componentes não tocados nessa descrição.

A análise do sinal 405 pode ser completada utilizando-se uma variedade de técnicas. Por exemplo, pode-se fazer referência ao pedido de patente U.S. No. 2005/0204808, previamente incorporado por referência. Esse pedido de patente de referência ensina, entre outras coisas, um método de estimativa de uma propriedade de um fluido, que inclui a transmissão de um primeiro pulso acústico em um primeiro elemento que está em contato com o fluido; a detecção de uma pluralidade de retornos de eco de pulso acústico de uma interface entre o primeiro elemento e o fluido; e a estimativa da propriedade do fluido a partir da pluralidade de retornos de eco de pulso acústico.

No método de estimativa, a propriedade do fluido inclui pelo menos uma dentre impedância acústica, densidade e viscosidade do fluido. Uma etapa adicional inclui pelo menos uma dentre estimativa de coeficiente de reflexo da interface entre o primeiro elemento e o fluido; estimativa de uma impedância acústica do primeiro elemento; e estimativa de uma inclinação da deterioração de energia para a pluralidade de retornos de eco de pulso acústico. Em algumas modalidades, a estimativa da inclinação da deterioração de energia inclui a realização de um encaixe de quadrados médios à pluralidade de retornos de eco de pulso acústico; em algumas outras modalidades, a estimativa de inclinação de deterioração de energia inclui a divisão de cada um dentre a pluralidade de retornos de eco de pulso acústico em uma pluralidade de janelas de tempo. Em algumas outras modalidades, a estimativa de inclinação de deterioração de energia inclui adicionalmente a integração através de cada uma dentre a pluralidade de janelas de tempo, em outras modalidades, a estimativa de inclinação de deterioração de energia inclui adicionalmente a subtração de ruído de cada um dentre a plurali-

dade de retornos de eco de pulso acústico.

O método de estimativa pode exigir adicionalmente a transmissão de um segundo pulso acústico através do fluido; e a estimativa de velocidade de som através do fluido, utilizando um tempo de percurso de ida e volta para o segundo pulso acústico entre o primeiro elemento e um segundo elemento que está em contato com o fluido.

Alternativamente, o método de estimativa pode exigir a transmissão de um segundo pulso acústico através do fluido, e a estimativa de atenuação do segundo pulso acústico através do fluido. Em algumas modalidades, a estimativa da atenuação inclui a estimativa da atenuação em uma pluralidade de frequências. Em algumas modalidades, a transmissão do segundo pulso acústico inclui adicionalmente a transmissão de uma pluralidade de pulsos acústicos em uma pluralidade de frequências. Em modalidades típicas, a estimativa é realizada no poço.

Em outras modalidades, a análise do sinal 405 exige a avaliação dos sinais acústicos de acordo com a equação 1 a 6 ilustrativas descritas aqui. Obviamente, outras relações podem ser realizadas pelos versados na técnica que fornecem a determinação dos aspectos físicos da amostra 106 pelo uso de sinais acústicos. É considerado que essas outras relações estejam dentro da contemplação dos ensinamentos apresentados aqui, e, de acordo, dentro do escopo das reivindicações em anexo.

Os versados na técnica também reconhecerão que a avaliação de amostra 400 pode incluir várias outras etapas, combinações de etapas, ou omitir determinadas etapas. Por exemplo, nas modalidades nas quais a amostra 106 é avaliada na linha de amostra, a coleta de amostra 402 e pressurização de amostra 403 podem ser essencialmente realizadas em uma única etapa.

Em modalidades adicionais, outros sensores são utilizados em adição ao transdutor acústico 101 para avaliação da amostra 106. Por exemplo, a temperatura da amostra 106 pode ser monitorada com um sensor de temperatura (não ilustrado). Várias combinações de dados de vários sensores podem ser vantajosas para avaliações de determinados aspectos da

amostra 106, tal como densidade ρ .

Em algumas modalidades, pode ser considerado vantajoso realizar parcialmente a pressurização da amostra 403 (para, por exemplo, uma pressão predeterminada), então, realizar as medições acústicas 404 e análise do sinal 405 antes de continuar com a pressurização da amostra 403. Por exemplo, pode ser considerado que as modalidades utilizando a pressurização e análise escalonadas da amostra 106 forneçam aos usuários dados adicionais para uso com relações adicionais para caracterização adicional da amostra 106.

Em suporte aos ensinamentos apresentados aqui, vários componentes de computador incluindo software podem ser fornecidos para operação e análise do aparelho e métodos descritos aqui. Conseqüentemente acordo, é considerado que esses ensinamentos podem ser implementados como um conjunto de instruções executáveis por computador armazenadas em um meio legível por computador, compreendendo ROM, RAM, CD ROM, flash ou qualquer outro meio legível por computador, conhecido agora ou desconhecido, que quando executado faça com que um computador implemente o método da presente invenção. Essas instruções podem fornecer operação e controle de equipamento, coleta e análise de dados e outras funções consideradas relevantes por um usuário.

Enquanto a descrição acima é direcionada às modalidades ilustrativas da invenção, várias modificações serão aparentes aos versados na técnica. Pretende-se que todas as variações dentro do escopo das reivindicações em anexo sejam englobadas pela descrição acima. Exemplos de características mais importantes da invenção foram resumidos de forma ampla a fim de que a descrição detalhada das mesmas que se segue possa ser mais bem compreendida, e a fim de que as contribuições à técnica possam ser apreciadas. Existem, obviamente, características adicionais da invenção que serão descritas posteriormente e que formarão o assunto das reivindicações em anexo.

REIVINDICAÇÕES

1. Ferramenta para avaliação de um poço de fluido, compreendendo:

5 uma câmara de amostra adaptada para ter o fluido disposto na mesma, uma bomba para fornecer comunicação por fluido com o fluido;

um transdutor para fornecer comunicação acústica com o fluido;

e

um processador em comunicação de dados com o transdutor e a bomba;

10 em que o processador é adaptado para mudar a pressão do fluido, excitar o transdutor e receber dados acústicos e computar uma taxa de mudança da velocidade do som no fluido.

2. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, na qual a câmara de amostra compreende pelo menos um dentre um tanque de amostras e uma linha de amostras.

3. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo adicionalmente partes eletrônicas acopladas ao transdutor para gerar a comunicação acústica.

20 4. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, compreendendo adicionalmente partes eletrônicas e um transdutor de audição acoplado à câmara de amostra para monitorar a comunicação acústica.

25 5. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, na qual a pressão na câmara de amostra compreende pressão de entre cerca de 3450 (500 psi) kPa e cerca de 25150 kPa (3500 psi) acima de uma pressão de fluido de formação.

6. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, na qual a amostra compreende pelo menos uma de água, fluido de perfuração, lama, óleo e fluidos de formação.

30 7. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, na qual uma fonte de pressão para alteração da pressão compreende pelo menos um dentre a bomba e um suprimento remoto.

8. Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, na qual o pro-

cessador compreende um computador digital.

9. Método de avaliação de uma propriedade de um fluido, compreendendo:

o recebimento de fluido em uma câmara de amostra da ferramenta;

a alteração de uma pressão da amostra de fluido;

a transmissão de pelo menos um sinal acústico para a amostra de fluido; e

a análise de pelo menos um sinal acústico para avaliação da taxa de alteração da velocidade do som no fluido com pressão.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a alteração, transmissão e análise são realizadas para uma pluralidade de níveis de pressão.

11. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a alteração compreende pelo menos uma dentre pressurização substancialmente excessiva, pressurização excessiva, pressurização ligeiramente excessiva, pressurização ligeiramente insuficiente, pressurização substancialmente insuficiente e pressão de alívio total.

12. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a alteração da pressão compreende a pressurização para pelo menos uma pressão predeterminada.

~~13. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a avaliação das propriedades do fluido compreende a solução da relação:~~

$$P = P_0 + A \left(\frac{\Delta \rho}{\rho} \right) + \frac{B}{2!} \left(\frac{\Delta \rho}{\rho} \right)^2$$

em que

P representa a pressão aplicada ao fluido;

~~P₀~~ representa a pressão na câmara de amostra para um estado não pressurizado;

ρ representa uma densidade do fluido;

$\Delta \rho$ representa uma mudança na densidade do fluido; e

A, B representam coeficientes viriais para o fluido.

14. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a avaliação das propriedades do fluido compreendem a solução da equação:

$$\frac{B}{A} = \left(\frac{2\rho c}{(dc/dP)} \right);$$

em que

dc/dP representa uma derivação de uma velocidade do som c

5 com relação à pressão, P, aplicada ao fluido:

c representa a velocidade do som no fluido;

ρ representa a densidade do fluido; e

A, B representam coeficientes viriais para o fluido.

10 15. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a avaliação das propriedades do fluido compreende a solução da relação:

$$\Delta A_c = - \left[\frac{M_c^2}{(B/A+1)} \right] \ln \left(\frac{82.051T\rho}{M} \right);$$

em que

ΔA_c representa uma energia consistente do fluido;

M_c representa um peso molecular médio do fluido;

T representa uma temperatura do fluido;

15 ρ representa a densidade do fluido; e

A, B representam coeficientes viriais para o fluido.

16. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a avaliação das propriedades do fluido compreende a solução da relação:

$$\delta = \sqrt{\left[\left(\frac{\rho c^2}{(B/A+1)} \right) \ln \left(\frac{V_g}{V_l} \right) \right]};$$

em que

20 δ representa um parâmetro de solubilidade para o fluido;

V_g , V_l representam um volume molar do fluido para um estado gasoso e um estado líquido, respectivamente;

c representa a velocidade do som no fluido;

ρ representa a densidade do fluido; e

25 A, B representam os coeficientes viriais para o fluido.

17. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a avaliação das propriedades do fluido compreende a solução da relação:

$$a = \left[\frac{\rho c^2 V_l^2}{(B/A+1)} \right];$$

em que

α representa uma medida de forças de atração entre as moléculas no fluido;

V_l representa um volume molar do fluido para um estado líquido;

5 c representa a velocidade do som no fluido;

ρ representa a densidade do fluido; e

A, B representam coeficientes viriais para o fluido.

18. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a avaliação das propriedades do fluido compreende a solução da relação:

$$b = V_l - \frac{RT}{\rho c^2} (B/A+1);$$

10 em que

b suporta uma relação com o tamanho das moléculas no fluido;

R representa uma constante de gás ideal;

V_l representa um volume molar do fluido para um estado líquido;

c representa a velocidade do som no fluido;

15 ρ representa a densidade do fluido; e

A, B representam coeficientes viriais para o fluido.

19. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a alteração da pressão compreende a manutenção do fluido em um estado líquido.

20 20. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a avaliação das propriedades da amostra de fluido compreende a solução da relação:

$$b = V_l - \frac{RT}{\rho c^2} (B/A+1);$$

em que

b suporta uma relação com o tamanho das moléculas na amostra de fluido;

25 R representa uma constante de gás ideal;

V_l representa um volume molar da amostra de fluido para um estado líquido;

c representa a velocidade do som na amostra de fluido;

ρ representa a densidade da amostra de fluido; e

A, B representam os coeficientes viriais para a amostra de fluido.

5 21. Método, de acordo com a reivindicação 9, no qual a alteração da pressão compreende a manutenção da amostra em um estado líquido.

22. Produto de programa de computador armazenado em mídia legível por máquina, o produto compreendendo instruções para a avaliação das propriedades de um fluido em um ambiente de poço, por:

10 alteração de uma pressão do fluido dentro de uma câmara de amostra;

transmissão de pelo menos um sinal acústico para dentro do fluido; e

15 análise de pelo menos um sinal acústico para avaliação das propriedades do fluido.

23. Produto de programa de computador, de acordo com a reivindicação 22, compreendendo adicionalmente instruções para:

receber o fluido dentro da câmara de amostra da ferramenta.

20 24. Produto de programa de computador, de acordo com a reivindicação 22, compreendendo adicionalmente instruções para a repetição da alteração, transmissão e análise para uma pluralidade de níveis de pressão.

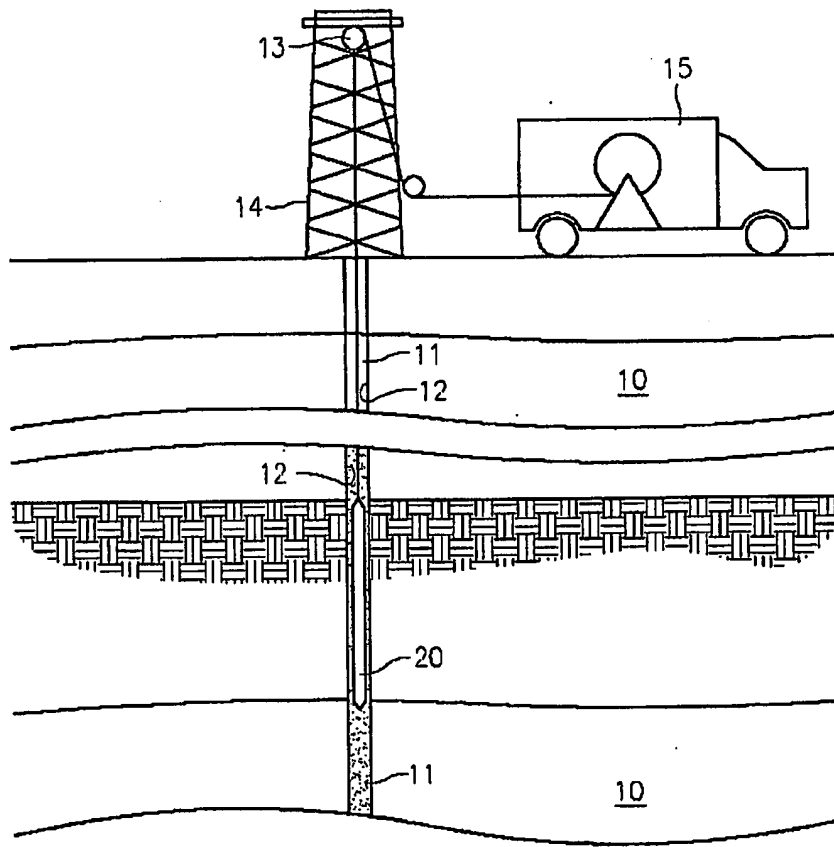


FIG. 1

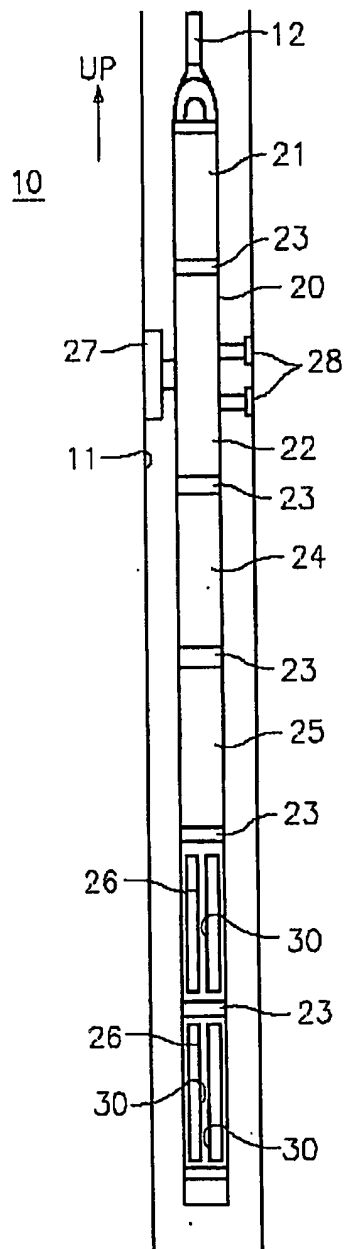


FIG. 2

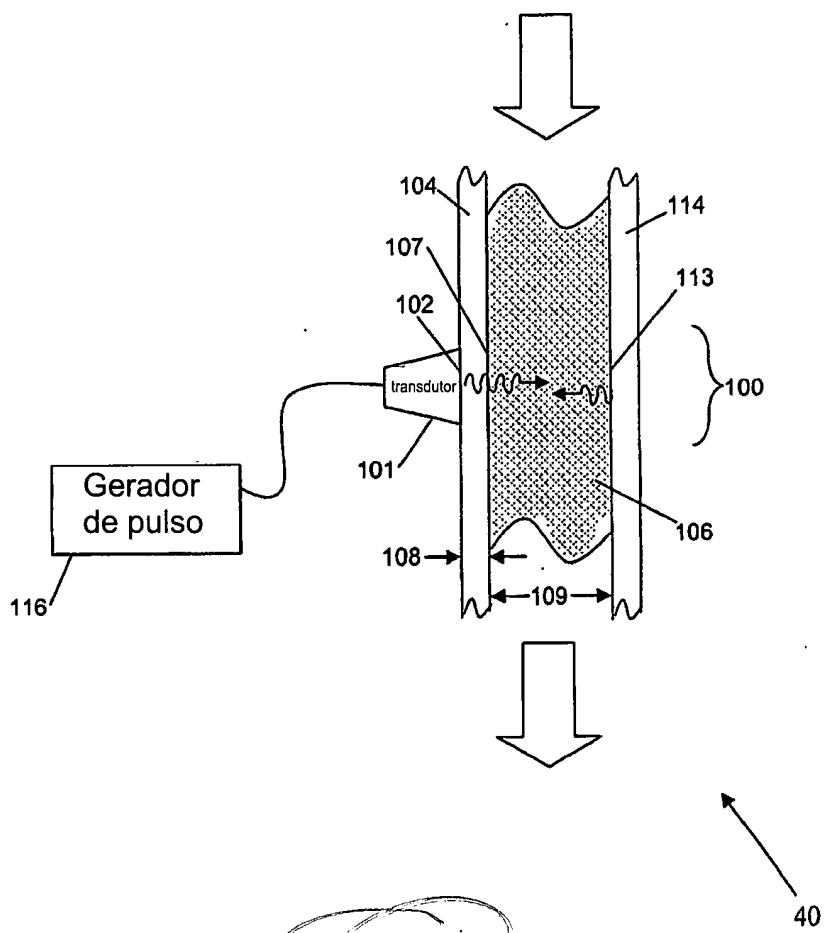


FIG. 3

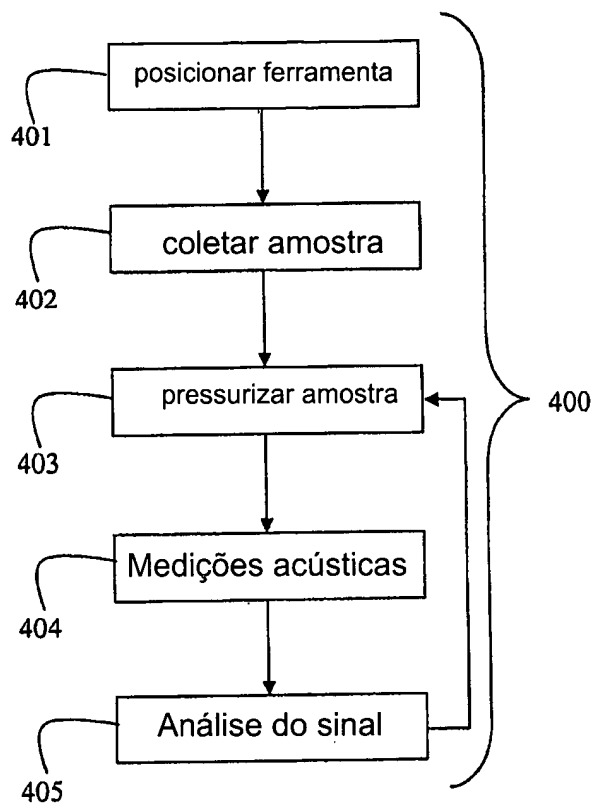


FIG. 4

RESUMO

Patente de Invenção: "**CARACTERIZAÇÃO DE FLUIDO DE POÇO COM BASE EM MUDANÇAS NAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS COM PRESSÃO**".

- 5 A presente invenção refere-se a técnicas para a avaliação dos aspectos físicos de um fluido de formação a partir de dentro de um poço que incluem a alteração de pressão em uma amostra do fluido de formação e a transmissão de pelo menos um pulso acústico através da amostra de fluido e análise da informação acústica coletada. O aparelho e os métodos para a
- 10 avaliação envolvem a utilização de pelo menos um transdutor acústico. A análise envolve tipicamente o uso de fórmulas que relacionam a equação de estado do fluido e outras propriedades a uma alteração na velocidade do som no fluido como uma função da pressão.